过瘤胃赖氨酸对奶牛瘤胃微生物蛋白产量、产奶性能和氮排泄的影响

张凯祥[1] 邢德芳[2] 高许雷[3] 滕乐帮[4] 吕永艳[1] 孙国强[1*]

（1. 青岛农业大学动物科技学院，青岛 266109；2.莱阳市团旺畜牧兽医工作站，莱阳 265217；3.青岛市崂山区农业和水利局，青岛 266061；4. 平度市畜牧兽医局，青岛 266700）

摘 要：本试验旨在研究过瘤胃赖氨酸（RPLys）对奶牛瘤胃微生物蛋白（MCP）产量、产奶性能和氮排泄的影响。选取年龄、体重、胎次、产奶量、乳成分及泌乳期[（90±15） d]相近且体况良好的荷斯坦奶牛 40 头，随机分为 4 组，每组 10 头。对照组、试验 1 组、试验 2 组和试验 3 组饲粮中分别添加 0、25、30 和 35 g/（d • 头）的 RPLys。预试期 15 d，正试期 60 d。结果表明：1）试验 1 组、试验 2 组、试验 3 组的瘤胃 MCP 产量分别比对照组提高了 5.34%（P<0.05）、14.76%（P<0.01）、10.06%（P<0.01）。2）试验 1 组、试验 2 组、试验 3 组的产奶量分别比对照组提高了 5.34%（P<0.05）、9.30%（P<0.01）、6.69%（P<0.05）；在乳蛋白率方面，试验 2 组极显著高于对照组（P<0.01），试验 3 组显著高于对照组（P<0.05）。3）试验 1 组、试验 2 组、试验 3 组的氮总排出量分别比对照组降低了 5.70%（P<0.01）、9.98%（P<0.01）、7.87%（P<0.01）。由此可知，奶牛饲粮中添加 RPLys 可以提高奶牛瘤胃 MCP 产量，降低奶牛氮总排出量，提高奶牛的产奶性能。综合考虑上述指标，在本试验条件下，奶牛饲粮中 RPLys 的最适添加量为 30 g/（d • 头）。

关键词：过瘤胃赖氨酸；奶牛；瘤胃微生物蛋白；产奶性能；氮排泄

中图分类号：S816　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

近年来，随着我国奶牛养殖规模的不断扩大，对大豆等蛋白质饲料的需要量不断增加，在集约化的养殖模式下，大量未被利用的氮元素经奶牛的粪尿直接排放到外界环境中，既造

收稿日期：2018-06-06
基金项目：山东省现代农业产业技术体系牛产业创新团队（SDAIT-09-08）
作者简介：张凯祥（1993-），男，山东莱州人，硕士研究生，研究方向为反刍动物营养。E-mail: 18363976021@163.com
*通信作者：孙国强，教授，硕士生导师，E-mail: qdnydxsgq@126.com

成了蛋白质资源的浪费，又加剧了环境的污染，蛋白质饲料原料短缺和环境污染等因素成为制约我国奶牛养殖业发展的重要因素。实际生产中，在不影响奶牛产奶性能的前提下，提高奶牛对饲粮蛋白质的利用率、降低氮排泄量，对减少因奶牛养殖对环境造成的污染具有重要的意义。在反刍动物蛋白质营养中，限制性氨基酸及饲粮氨基酸组成模式是决定动物体内含氮物质利用效率的重要因素[1]。赖氨酸作为反刍动物的第一或第二限制性氨基酸，有研究发现，将其进行过瘤胃处理后添加到反刍动物饲粮中可以避免赖氨酸在瘤胃中的降解，增加小肠内赖氨酸的含量，提高饲粮蛋白质的利用率[2]。王星凌等[3]研究饲粮蛋白质和赖氨酸对奶牛生产性能和氮排泄的影响时发现，饲粮中添加过瘤胃赖氨酸（RPLys）可显著提高奶牛产奶量和乳蛋白率，并可提高氮的利用率。RPLys可以满足奶牛对限制性氨基酸的需要，增加小肠可利用氨基酸的数量，提高奶牛的产奶性能。欧阳靖[4]研究饲粮饲喂赖氨酸对羔羊消化代谢的影响时发现，赖氨酸可以提高羔羊对有机物的消化量，增加氮的沉积，提高氮的利用率。刘钢等[5]研究发现，在奶牛的饲粮中添加RPLys可以平衡奶牛机体氨基酸的利用体系，促进蛋白质的消化吸收，提高饲料蛋白质的利用率和奶牛的产奶量，减少氮排泄量。蛋白质营养的实质是氨基酸营养，蛋白质消化率的变化间接反映氨基酸消化率的变化[6]，RPLys在反刍动物中的研究主要集中于产奶性能方面，而在饲粮中添加RPLys对奶牛瘤胃微生物蛋白（MCP）产量以及氮排泄影响的研究极为鲜见。本试验通过在奶牛饲粮中添加不同水平的RPLys，探讨其对瘤胃MCP产量、产奶性能和氮排泄的影响，确定RPLys在奶牛饲粮中的最适添加量，以期提高奶牛产奶性能、饲粮蛋白质利用率和瘤胃MCP产量，减少氮排泄，改善养殖环境，为我国奶牛养殖业的健康可持续发展提供参考依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计

本试验所用 RPLys（过瘤胃率为 70%）由青岛润博特生物科技有限公司提供，为白色颗粒状物质，组成原料为 *L*-赖氨酸盐酸盐、棕榈油、二氧化硅，其中赖氨酸≥50%，水分≤12%。

试验采用单因素随机分组的方法，选取烟台荷牧园牧业有限责任公司养殖的年龄、体重、胎次、产奶量、乳成分及泌乳期[（90±15） d]相近且体况良好的荷斯坦奶牛 40 头，随机分为 4 组，每组 10 头。对照组、试验 1 组、试验 2 组和试验 3 组饲粮中分别添加 0、25、30 和 35 g/（d • 头）RPLys。每头奶牛每天从饲粮中预留出 0.5 kg 麸皮，将 RPLys 与预留的 0.5 kg 麸皮混合均匀后均分为 2 份，每日分 2 次随全混合日粮（TMR）饲喂。TMR 组成及营养水平见表 1。

表 1　TMR 组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the TMR (DM basis)　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	8.18
蒸汽压片玉米 Steam-flaked corn	10.66
麦麸 Wheat bran	2.08
豆粕 Soybean meal	7.19
玉米干酒精糟及其可溶物 Corn DDGS	4.37
大豆皮 Soybean hull	3.40
全棉籽 Whole cottonseed	3.40
膨化大豆 Extruded soybean	2.09
全株玉米青贮 Whole-plant corn silage	27.10
啤酒糟 Brewer’s grains	6.20
苜蓿草 Alfalfa hay	13.08
羊草 Chinese wide rye	8.65
过瘤胃脂肪 Rumen protected fat1)	0.38
食盐 NaCl	0.33

小苏打 $NaHCO_3$	0.38
预混料 Premix2)	2.32
生物脱霉素 Biological mycotoxin removement agent3)	0.19
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels 4)	
粗蛋白质 CP	15.30
产奶净能 NE_L/(MJ/kg)	6.58
中性洗涤纤维 NDF	40.20
酸性洗涤纤维 ADF	20.10
钙 Ca	0.97
磷 P	0.42

1)过瘤胃脂肪主要成分 Main components of rumen protected fat：棕榈酸 palmitic acid≥75%，肉豆蔻酸 myristic acid 1%～5%，硬脂酸 stearic acid 6%～8%，油酸 oleic acid≤10%，糠酸 furoic acid≤2%。

2)预混料为每千克 TMR 干物质提供 The premix provided the following per kg of the DM for TMR:VA 8 000 IU，VD_3 1 600 IU，VE 30 mg，Fe 20 mg，Cu 16 mg，Zn 100 mg，Mn 35 mg，I 1 mg，Se 0.5 mg，Co 0.5 mg。

3)生物脱霉素主要成分 Main components of biological mycotoxin removement agent：甘露寡糖 mannan oligosaccharide≥14%，β-葡聚糖 β-glucan 15%～40%，粗蛋白质 crude protein≤35%，水分 moisture≤6%。

4)产奶净能为计算值，是将配方中各原料的产奶净能分别与其所占 TMR 的百分比相乘，然后相加得到[7]，其余营养水平为实测值。NE_L was a calculated value which was the sum of $NE_L$of different multiplied by their percentages in the TMR[7], while the other nutrient levels were

measured values.

1.2 饲养管理

试验牛采用分栏饲喂，整个试验期共 75 d，其中预试期 15 d，正试期 60 d。试验牛每日使用荷兰进口 SAC 全自动挤奶器挤奶 3 次（04:00、12:00、18:00），每日饲喂 TMR 2 次（04:30、18:30），确保奶牛每日有 20 h 以上时间能够接触到 TMR。试验奶牛采食后，在运动场自由运动和饮水，按常规对试验牛进行驱虫、光照及管理。

1.3 样品的采集与处理

1.3.1 TMR 样

在预试期第 1～3 天、正试期第 28～30 天和正试期第 58～60 天时采用四分法收集 3 次 TMR 样，将收集的 TMR 样置于 65 ℃恒温干燥箱中烘干，制成风干样，粉碎混匀后备用。

1.3.2 尿样

分别在预试期第 1～3 天、正试期第 28～30 天和正试期第 58～60 天时收集尿样，参照朱雯[6]介绍的点收尿法，采取人工接尿结合膀胱取尿的方法，每天收集 2 次，每隔 12 h 收集 1 次，连续收集 3 d，每天在前 1 天的基础上延后 4 h 收集。向每次收集的尿样中加入 10%的硫酸，调整 pH(使 pH<3)后，于－20 ℃冰柜中冷冻保存。

1.3.3 粪样

分别在第 1～3 天、正试期第 28～30 天和正试期第 58～60 天收集 3 次粪样，每次连续 3 d 进行 24 h 全收粪。每次收集粪样前将试验牛的牛床冲洗干净，及时将试验牛粪便收集入桶，将每天收集的粪样混合均匀并称重，采用四分法收集当天粪便，按每 100 g 粪样加入 25 mL 硫酸（10%）的方式进行固氮处理后，于－20 ℃冰柜中进行冷冻保存。每阶段采样结束后，将 3 d 所收集的粪样按样重比例混匀，置于恒温干燥箱中 65 ℃烘至恒重，制成风干样进行保存。

1.3.4 乳样

分别在预试期第 1 天和正试期每隔 15 d，按照早、中、晚 4:3:3 的比例收集乳样 50 mL 于取样瓶中，加入 30 mg 重铬酸钾防腐剂，混匀后将其放于 4 ℃冰柜中冷藏保存，用于乳成分各项指标的测定。

1.4　指标测定与方法

1.4.1　采食量

试验牛分栏饲喂，单独记录每头试验牛的采食量。预试期内，每隔 2 d 记录 1 次投料量，每次饲喂前收集剩余饲粮并称重，依据投料量和剩料量计算出每头牛的采食量。采用相同的方法，正试期内每隔 10 d 记录并计算 1 次采食量，总共记录 6 次，每次连续记录 3 d，根据 3 d 的采食量记录计算出该阶段的平均采食量。每次根据上一阶段测定的平均采食量调整下一阶段 TMR 饲喂量。

1.4.2　常规营养物质含量

参照 GB/T 6435-2006[8]测定水分含量，计算干物质（DM）含量；粗蛋白质（CP）含量采用凯氏定氮法（GB/T 6432-1994[9]）进行测定；参照 GB/T 20806-2006[10]测定中性洗涤纤维（NDF）含量；参照 NY/T 1459-2007[11]测定酸性洗涤纤维（ADF）含量；钙（Ca）含量的测定采用高锰酸钾法（GB/T 6436-2002[12]）；磷（P）含量的测定采用分光光度法（GB/T 6437-2002[13]）。

1.4.3　瘤胃 MCP 产量

尿中排出的嘌呤衍生物（PD）主要来源于瘤胃微生物嘌呤，因此通过测定尿中 PD 的含量可以估测出瘤胃 MCP 产量。尿中尿酸和尿囊素的含量使用比色法进行测定，尿酸和尿囊素含量之和即为尿 PD 含量[14]。测定尿酸含量时使用仪器为 UV-1800 PC 型紫外可见分光光度计（上海美谱达仪器有限公司），测定尿囊素含量时使用的仪器为 DNM-9602 酶标分析仪（北京普朗新技术有限公司）。

小肠吸收外源性嘌呤量(X)的计算公式为：

Y=0.85X+0.385BW$^{0.75}$。

式中：Y 为尿中 PD 排出量(mmol/d)；0.85 为牛肠道吸收的嘌呤转化为尿中 PD 的回收率；0.385 为当牛肠道吸收嘌呤的量为 0 时，尿中内源 PD 的排出量；BW$^{0.75}$ 为动物的代谢体重（kg）。

瘤胃 MCP 产量的计算公式为：

MCP（g/d）=（6.25×70X）/（0.83×0.116×1 000）=6.25×0.727X。

式中：X 为小肠吸收外源性嘌呤量（mmol/d）；70 为每摩尔嘌呤的含氮量（mg/mol）；0.83 为微生物核酸嘌呤的消化率；0.116 为瘤胃微生物总氮中嘌呤氮的比例；6.25 为氮换算为蛋白质的平均系数。

1.4.4　产奶量及乳成分

采用荷兰进口 SAC 全自动挤奶器挤奶，挤奶时自动显示产奶量。在预试期和正试期期间，每隔 5 d 记录 1 次试验牛产奶量，每次连续记录 3 d，取 3 d 产奶量的平均值。

采用山东省农业科学院奶牛研究中心生产性能测定实验室的乳成分和体细胞自动分析仪（Combi Foss FT+,丹麦 Foss 公司,）测定乳样中的乳脂率、乳蛋白率、乳糖率和乳体细胞数，计算正试期内各乳成分指标的平均值。

1.4.5　氮代谢指标

利用脲酶法测定尿中尿素氮含量[15]，利用苦味酸比色法测定尿肌酐含量[16]，以上测定所用试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。参考 Valadares 等[16]的试验方法，通过尿肌酐（每天每头牛 1 kg 体重大约排出 29 mg 尿肌酐）标记来测定试验牛的排尿量。试验测定尿素氮、尿肌酐含量时，使用仪器为 UV-1800 PC 型紫外可见分光光度计（上海美谱达仪器有限公司）。

氮代谢指标计算公式如下：

粪氮（g/d）=每日排氮量×粪中 CP 的含量×0.16；

尿氮（g/d）=每日排尿量×尿氮含量；

乳氮（g/d）=产奶量×乳蛋白率×0.16；

可消化氮（g/d）=饲粮食入氮－粪氮；

氮总排出量（g/d）=粪氮+尿氮；

氮沉积（g/d）=饲粮食入氮－粪氮－尿氮－乳氮；

氮表观消化率（%）=［（饲粮食入氮－粪氮）/饲粮食入氮］×100。

1.5　数据处理与分析

使用 Excel 2010 软件对试验数据进行初步处理，使用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析，采样 Duncan 氏法多重比较检验组间差异显著性，以 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 分别表示差异显著和极显著，结果以平均值±标准误表示。

2　结果与分析

2.1　RPLys 添加量对奶牛瘤胃 MCP 产量的影响

由表 2 可知，在尿酸排出量方面，各试验组均极显著高于对照组（$P<0.01$），且 30 g/（d • 头）RPLys 添加组极显著高于 25 g/（d • 头）RPLys 添加组（$P<0.01$），与 35 g/（d • 头）RPLys 添加组之间差异不显著（$P>0.05$）；在尿囊素排出量方面，30 和 35 g/（d • 头）RPLys 添加组极显著高于对照组（$P<0.01$），25 g/（d • 头）RPLys 添加组与对照组无显著差异（$P>0.05$），30 g/（d • 头）RPLys 添加组还极显著高于 25 g/（d • 头）RPLys 添加组（$P<0.01$）；在尿 PD 排出量方面，25 g/（d • 头）RPLys 添加组显著高于对照组（$P<0.05$），30 和 35 g/（d • 头）RPLys 添加组极显著高于对照组（$P<0.01$），30 g/（d • 头）RPLys 添加组极显著高于 25 g/（d • 头）RPLys 添加组（$P<0.01$），与 35 g/（d • 头）RPLys 添加组之间差异不显著（$P>0.05$）；在瘤胃 MCP 产量方面，25 g/（d • 头）RPLys 添加组显著高于对照组（$P<0.05$），30 和 35 g/（d • 头）RPLys 添加组极显著高于对照组（$P<0.01$），30 g/（d • 头）RPLys 添加组极显著高于 25 g/（d • 头）RPLys 添加组（$P<0.01$），与 35 g/（d • 头）RPLys 添加组之间

无显著差异（P>0.05），25、30、35 g/（d·头）RPLys 添加组的瘤胃 MCP 产量分别比对照组提高了 5.34%、14.76%、10.06%。

表 2　RPLys 添加量对奶牛瘤胃微生物蛋白产量的影响

Table 2　Effects of RPLys supplemental level on ruminal MCP production of dairy cows

项目	过瘤胃赖氨酸添加量 RPLys supplemental level/[g/（d·头）]			
Items	0	25	30	35
尿酸 Uric acid/(mmol/d)	34.19±2.44^{Cc}	40.50±1.20^{Bb}	47.68±0.82^{Aa}	43.57±1.10^{ABab}
尿囊素 Allantoin/(mmol/d)	279.60±2.09^{Cc}	290.04±7.29^{BCbc}	312.42±6.89^{Aa}	301.78±4.55^{ABab}
尿嘌呤衍生物 Urinary PD/(mmol/d)	313.79±4.06^{Cc}	330.55±6.68^{BCb}	360.10±7.12^{Aa}	345.35±5.09^{ABab}
瘤胃微生物蛋白产量 Ruminal MCP production/(g/d)	1 425.79±18.44^{Cc}	1 501.92±30.37^{BCb}	1 636.19±32.34^{Aa}	1 569.20±23.14^{ABab}

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），不同大写字母表示差异极显著（P<0.01），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference (P<0.01), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2　RPLys 添加量对奶牛干物质采食量和产奶性能的影响

由表 3 可知，各试验组的干物质采食量与对照相比均差异不显著（P>0.05）。正试期内，在产奶量方面，25 和 35 g/（d·头）RPLys 添加组显著高于对照组（P<0.05），30 g/（d·头）RPLys 添加组极显著高于对照组（P<0.01），25、30、35 g/（d·头）RPLys 添加组的产奶量分别比对照组提高了 5.34%、9.30%、6.69%；在乳蛋白率方面，30 g/（d·头）RPLys 添加

组极显著高于对照组（P<0.01），35 g/（d·头）RPLys 添加组显著高于对照组（P<0.05），25 g/（d·头）RPLys 添加组与对照组相比无显著差异（P>0.05）；在乳脂率、乳糖率和乳体细胞数方面，各试验组与对照组相比均无显著差异（P>0.05）。

表 3　RPLys 添加量对奶牛干物质采食量和产奶性能的影响

Table 3　Effects of RPLys supplemental level on DMI and milk performance of dairy cows

项目 Items		过瘤胃赖氨酸的添加量 RPLys supplemental level/[g/（d·头）] 0	25	30	35
干物质采食量 DMI/(kg/d)		21.70±0.14	21.75±0.14	21.86±0.08	21.78±0.12
产奶量 Milk yield/(kg/d)	预试期 Preliminary trial period	23.36±0.69	23.41±0.71	23.39±0.49	23.35±0.39
	正试期 Trial period	23.77±0.24^{Bb}	25.04±0.77^{ABa}	25.98±0.27^{Aa}	25.36±0.20^{ABa}
乳脂率 Milk fat percentage/%	预试期 Preliminary trial period	3.88±0.06	3.89±0.06	3.90±0.05	3.90±0.07
	正试期 Trial period	3.91±0.05	3.94±0.08	4.00±0.04	3.98±0.13
乳蛋白率 Milk protein percentage/%	预试期 Preliminary trial period	3.28±0.03	3.29±0.04	3.30±0.05	3.27±0.05
	正试期 Trial period	3.30±0.03^{Bc}	3.36±0.02^{ABbc}	3.46±0.04^{Aa}	3.39±0.02^{ABab}
乳糖率 Milk ctose percentage/%	预试期 Preliminary trial period	4.47±0.07	4.48±0.06	4.46±0.08	4.49±0.08
	正试期 Trial period	4.46±0.06	4.45±0.02	4.42±0.05	4.43±0.06
乳体细胞数 Milk somatic cell count/×10^{3} mL^{-1}	预试期 Preliminary trial period	175.17±3.19	176.63±4.85	178.38±5.15	174.88±3.96
	正试期 Trial period	165.94±2.75	160.44±5.01	153.39±4.02	158.33±3.67

2.3　RPLys 添加量对奶牛氮排泄及氮表观消化率的影响

由表 4 可知，各试验组的食入氮与对照组相比均无显著差异（P>0.05）；各试验组粪氮、尿氮排出量均极显著低于对照组（P<0.01），其中 30 g/（d·头）RPLys 添加组尿氮排出量极显著低于 25 g/（d·头）RPLys 添加组；在乳氮排出量方面，各试验组均极显著高于对照

组（*P*<0.01），其中 30 g/（d・头）RPLys 添加组极显著高于 25 和 35 g/（d・头）RPLys 添加组（*P*<0.01）；在可消化氮方面，各试验组均极显著高于对照组（*P*<0.01），其中 30 g/（d •头）RPLys 添加组显著高于 25 g/（d・头）RPLys 添加组（*P*<0.05），与 35 g/（d・头）RPLys 添加组之间差异不显著（*P*>0.05）；在氮总排出量方面，各试验组均极显著低于对照组（*P*<0.01），其中 30 g/（d・头）RPLys 添加组极显著低于 25 g/（d・头）RPLys 添加组（*P*<0.01），25、30、35 g/（d・头）RPLys 添加组的氮总排出量分别比对照组降低了 5.70%（*P*<0.01）、9.98%（*P*<0.01）、7.87%（*P*<0.01）；各试验组的氮沉积均极显著高于对照组（*P*<0.01）；在氮表观消化率方面，各试验组均极显著高于对照组（*P*<0.01）。

表 4　RPLys 添加量对奶牛氮排泄及氮表观消化率的影响

Table 4　Effects of RPLys supplemental level on N excretion and N apparent digestibility of dairy cows

项目	过瘤胃赖氨酸的添加量 RPLys supplemental level/[g/（d・头）]			
Items	0	25	30	35
食入氮 Intake N/（g/d）	542.88±1.90	544.77±1.38	546.55±0.85	545.78±0.95
粪氮 Feces N/（g/d）	167.50±3.53^{Aa}	154.84±2.61^{Bb}	148.70±2.78^{Bb}	152.00±1.44^{Bb}
尿氮 Urine N/（g/d）	239.77±2.50^{Aa}	229.23±2.12^{Bb}	217.94±2.09^{Cc}	223.20±2.41^{BCbc}
乳氮 Milk N/（g/d）	125.41±1.07^{Cc}	134.71±2.32^{Bb}	143.91±1.46^{Aa}	137.56±0.95^{Bb}
可消化氮 Digestible N/（g/d）	375.39±2.14^{Bc}	389.94±2.95^{Ab}	397.85±2.81^{Aa}	393.78±1.77^{Aab}
氮总排出量 N total excretion/（g/d）	407.27±2.83^{Aa}	384.06±4.69^{Bb}	366.63±2.91^{Cc}	375.20±1.22^{BCbc}
氮沉积 N deposition/(g/d)	10.20±2.26^{Bb}	26.00±2.36^{Aa}	36.01±3.31^{Aa}	33.02±1.52^{Aa}
氮表观消化率 N apparent digestibility/%	69.26±0.58^{Bb}	71.63±0.50^{Aa}	72.78±0.50^{Aa}	72.11±0.27^{Aa}

3 讨 论

3.1 RPLys添加量对奶牛瘤胃MCP产量的影响

尿中 PD 的含量与瘤胃 MCP 产量存在高度相关性[17]，由于尿中排出的 PD 主要来源于瘤胃微生物嘌呤，因此通过测定尿中 PD 的含量可以估测出奶牛瘤胃 MCP 产量。本试验条件下，在奶牛饲粮中添加不同水平 RPLys 后显著或极显著提高了奶牛瘤胃 MCP 产量。刘文杰[18]研究赖氨酸对小尾寒羊瘤胃和整体消化代谢的影响时指出，添加赖氨酸可以提高瘤胃液中总挥发性脂肪酸、乙酸、丙酸和丁酸的浓度，增加瘤胃液中细菌总数，同时提高了绵羊对有机物和粗蛋白质的表观消化率，改善瘤胃发酵类型，促进瘤胃消化代谢能力，提高瘤胃 MCP 产量。黄健[6]研究饲粮中添加赖氨酸对梅花鹿生长性能和消化代谢的影响时发现，赖氨酸能增加尿囊素和 PD 排出量，间接促进瘤胃 MCP 产量的增加。林英庭等[19]研究瘤胃保护性赖氨酸对小尾寒羊瘤胃发酵的影响时发现，在绵羊的饲粮中添加瘤胃保护性赖氨酸可以显著提高瘤胃 MCP 产量，瘤胃液 NH_3-N 浓度变化反映了瘤胃微生物对饲粮氮的降解速度和瘤胃微生物对氨态氮（NH_3-N）的利用速度，瘤胃液 NH_3-N 浓度间接影响 MCP 产量。在奶牛饲粮中添加 RPLys 后，通过改善瘤胃发酵类型，促使瘤胃 MCP 合成的速率大于瘤胃微生物分解蛋白质生成 NH_3-N 的速率，提高了奶牛瘤胃 MCP 产量。本试验中，随着 RPLys 添加量的增加，瘤胃 MCP 产量呈先增加后降低的变化趋势，其中 RPLys 添加量为 30 g/（d •头）时增加效果最明显。因为氨基酸之间存在拮抗作用[20]，添加高剂量的赖氨酸后，可能干扰了其他氨基酸的吸收和代谢，从而导致瘤胃 MCP 产量不再增加。

3.2 RPLys 添加量对奶牛干物质采食量和产奶性能的影响

Robinson等[21]研究发现，在泌乳奶牛的饲粮中添加RPLys对干物质采食量无显著影响。韩云胜等[22]研究发现，在饲粮中添加RPLys对荷斯坦奶牛的干物质采食量无显著影响。在本试验条件下，奶牛饲粮中添加RPLys对荷斯坦奶牛的干物质采食量无显著影响，与上述研究结果一致。云伏雨[23]在奶牛饲粮中补饲瘤胃保护性赖氨酸后发现其对奶牛干物质采食量无显

著影响，但显著提高了奶牛的产奶量和乳蛋白含量。RPLys的使用可以满足泌乳奶牛对限制性氨基酸的需要，增加小肠可利用氨基酸的数量，进而提高泌乳奶牛的生产性能。Giallongo等[24]向奶牛灌注RPLys后发现，RPLys可提高奶牛产奶量，促进乳蛋白合成，提高乳蛋白率。刘钢等[5]研究表明，在奶牛饲粮中添加RPLys可以降低奶牛对过瘤胃蛋白质的需要量，满足奶牛对限制性氨基酸的需要量，提高奶牛的产奶量和乳蛋白率。唐庆凤等[25]研究发现，在泌乳水牛饲粮中添加RPLys能够显著提高水牛的乳蛋白率。Giallongo等[26]在研究过瘤胃赖氨酸对奶牛生产性能的影响时指出，RPLys可以提高奶牛的产奶量和乳蛋白率。奶牛饲粮中的小肠可消化蛋白质（IDCP）是合成乳蛋白的来源[27]，在奶牛饲粮中添加RPLys后可提高IDCP的总量，并改善了IDCP中可消化氨基酸的组成比例，从而提高了奶牛乳蛋白的含量。本试验条件下，饲粮中添加RPLys后显著提高了奶牛的乳蛋白率，可能是添加RPLys后改善了小肠内氨基酸的组成，提高了奶牛对蛋白质的利用率，进而提高了奶牛的乳蛋白率。本试验中，随着RPLys添加量的增加，试验牛产奶量和乳蛋白率呈先升高后降低的变化趋势，其中RPLys添加量为30 g/（d•头）时提高效果最明显；乳脂率、乳糖率和乳体细胞数的变化趋势并不明显。饲喂高剂量的RPLys引起奶牛产奶量和乳蛋白率降低的原因，可能是由于高剂量赖氨酸与其他氨基酸之间产生了拮抗作用，影响了其他氨基酸的消化和吸收[20]，降低了饲粮蛋白质的利用率，从而造成了试验牛产奶量和乳蛋白率的降低。

3.3 RPLys添加量对奶牛氮排泄及氮表观消化率的影响

氮消化代谢反映了饲粮蛋白质沉积效率和氨基酸平衡状况，也与动物的生产性能密切相关，饲粮中添加RPLys可以提高动物对蛋白质的消化吸收，提高蛋白质的利用率，降低氮排泄[28]。氨作为饲粮蛋白质降解的产物，更是瘤胃微生物生长所需的主要氮源。毛成文[29]研究饲粮赖氨酸水平对獭兔生长性能和氮排泄的影响时指出，赖氨酸能降低血浆中尿素氮的含量，提高机体对蛋白质的消化吸收能力，提高氮沉积率。在本试验条件下，奶牛采食含有RPLys的饲粮后，粪氮、尿氮排出量和氮总排出量均极显著降低，可消化氮和氮表观消化率

均显著提高。Socha等[30]研究发现，在奶牛饲粮中添加RPLys可以降低尿中尿氮的浓度，提高氮的转化率，提高蛋白质的利用率，减少氮排出量。方桂友等[31]在研究赖氨酸对泌乳母猪生产性能和氮排泄的影响中发现，赖氨酸可以降低母猪尿素氮的浓度，显著减少粪氮排出量，提高氮表观消化率。李雪玲等[32]研究RPLys对断奶羔羊生长指标及氮利用率的影响时指出，饲粮中添加RPLys可以提高饲粮蛋白质转化效率、氮沉积和氮表观消化率。Whelan等[33]研究发现，在奶牛饲粮中添加赖氨酸可以改善氨基酸平衡，减少尿氮排放，提高氮的利用率。饲粮中添加RPLys可以增加小肠可消化氨基酸总量，减少蛋白质在瘤胃内转化过程中的损失，进一步提高饲粮蛋白质的利用率，减少氮的排出量。奶牛瘤胃内氮代谢与MCP产量息息相关，奶牛饲粮中添加RPLys有助于改善瘤胃消化代谢能力，使瘤胃MCP合成的速率大于瘤胃微生物分解蛋白质生成NH_3-N的速率，提高奶牛瘤胃MCP产量，减少NH_3-N的损失，提高氮的利用率，降低氮总排出量。本试验中，随着RPLys添加量的增加，试验牛氮总排出量呈先降低后升高的变化趋势，其中RPLys添加量为30 g/（d·头）时提高效果最明显。添加高添加量的RPLys造成奶牛氮总排出量升高的原因，可能是因为赖氨酸与精氨酸之间产生了拮抗作用，赖氨酸与精氨酸的膜转运载体相同，当赖氨酸添加量较高时，影响了精氨酸的吸收，增加了肾脏中精氨酸的降解，提高了尿中精氨酸和尿素的排出量，增加了尿氮的排出量[27]，从而导致高添加量组[30 g/（d·头）RPLys组]氮总排出量相对升高。

4 结 论

饲粮中添加 RPLys 可以提高奶牛瘤胃 MCP 产量和产奶性能，降低奶牛氮排泄。综合考虑以上各个指标，在本试验条件下，奶牛饲粮中 RPLys 的最适添加量为 30 g/（d·头）。

参考文献：

[1] 毛成文.包被蛋氨酸和赖氨酸对肉羊氮代谢和生产性能影响研究[D].北京:中国农业大学,2004.

[2] 张艳梅,周玉香.过瘤胃赖氨酸对反刍动物生产性能影响的研究概况[J].黑龙江畜牧兽医,2017(1):80-82.

[3] 王星凌,陶海英,游伟,等.日粮蛋白质和赖氨酸水平对奶牛产奶性能、氮代谢和血液指标的影

响[J].中国奶牛,2015(13):10-14.

[4] 欧阳靖.添喂赖氨酸对育肥羔羊消化代谢的影响[D].硕士学位论文.乌鲁木齐：新疆农业大学,2008.

[5] 刘钢, 单安山, 常启发.双低菜籽粕型日粮中添加过瘤胃赖氨酸对奶牛瘤胃发酵及生产性能的影响[C]//中国畜牧兽医学会动物营养学分会第十一次全国动物营养学术研讨会论文集.长沙:中国畜牧兽医学会,2012.

[6] 黄健.低蛋白质日粮添加蛋氨酸和赖氨酸对梅花鹿幼鹿生长性能、消化代谢和血清生化指标的影响[D].北京:中国农业科学院,2015.

[7] 朱雯.粗料来源对奶牛乳蛋白前体物生成与生产性能的影响与机制研究[D].杭州:浙江大学,2013.

[8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 6435-2006 饲料中水分和其他挥发性物质含量的测定[S].北京:中国标准出版社,2007.

[9] 国家技术监督局.GB/T 6432-1994 饲料中粗蛋白测定方法[S].北京:中国标准出版社,1994.

[10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 20806-2006 饲料中中性洗涤纤维(NDF)的测定[S].北京:中国标准出版社,2007.

[11] 中华人民共和国农业部.NY/T 1459-2007 饲料中酸性洗涤纤维的测定[S].北京:农业出版社,2008.

[12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB/T 6436-2002 饲料中钙的测定[S].北京:中国标准出版社,2002.

[13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB/T 6437-2002 饲料中总磷的测定 分光光度法[S].北京:中国标准出版社,2002.

[14] CHEN X B,MATUSZEWSKI W,KOWALCZYK J.Determination of allantoin in biological,cosmetic,and pharmaceutical samples[J].Journal of AOAC International,1996,79(3):628-635.

[15] KOHN R A,FRENCH K R,RUSSEK-COHEN E.A comparison of instruments and laboratories used to measure milk urea nitrogen in bulk-tank milk samples[J].Journal of Dairy Science,2004,87(6):1848-1853.

[16] VALADARES R F D,BRODERICK G A,VALADARES FILHO S C,et al.Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on ruminal protein synthesis estimated from excretion of total purine derivatives[J].Journal of Dairy Science,1999,82(12):2686-2696.

[17] 钟伟，李光玉，罗国良.尿液嘌呤衍生物法估测瘤胃微生物蛋白产量的研究进展[J].家畜生态学报,2008,29(1):99-102.

[18] 刘文杰.添喂赖氨酸对小尾寒羊瘤胃和整体消化代谢的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2012.

[19] 林英庭, 王利华, 朱风华, 等.瘤胃保护性赖氨酸和蛋氨酸对小尾寒羊瘤胃发酵及粗饲料成分瘤胃降解率的影响[J].华北农学报,2014,29(增刊):129-135.

[20] 周安国,陈代文.动物营养学[M].3版.北京:中国农业出版社,2011.

[21] ROBINSON P H,SWANEPOEL N,SHINZATO I,et al.Productive responses of lactating dairy cattle to supplementing high levels of ruminally protected lysine using a rumen protection technology[J].Animal Feed Science and Technology,2011,168(1/2):30-41.

[22] 韩云胜, 曲永利, 袁雪, 等.添加过瘤胃蛋氨酸、赖氨酸对荷斯坦奶公牛生长性能和胴体化学成分的影响[J].动物营养学报,2016,28(2):418-425.

[23] 云伏雨.瘤胃保护赖氨酸对泌乳中期奶牛生产性能和血液生化指标的影响[D].硕士学位论文.呼和浩特：内蒙古农业大学，2011.

[24] GIALLONGO F,HARPER M T,OH J,et al.Effects of rumen-protected methionine,lysine,and histidine on lactation performance of dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2016,99(6):4437-4452.

[25] 唐庆凤, 邹彩霞, 梁辛, 等.饲粮赖氨酸与蛋氨酸添加量对泌乳水牛生产性能的影响[J].饲料研究,2015(18):19-22.

[26] GIALLONGO F,HARPER M T,OH J,等.过瘤胃蛋氨酸、赖氨酸和组氨酸对泌乳奶牛生产性能的影响[J].饲料博览,2016(7):54.

[27] 夏楠, 王加启, 赵国琦, 等.瘤胃保护性氨基酸在奶牛生产中的应用研究[J].中国畜牧兽医,2008,35(9):5-9.

[28] HAQUE M N,GUINARD-FLAMENT J,LAMBERTON P,et al.Changes in mammary metabolism in response to the provision of an ideal amino acid profile at 2 levels of metabolizable protein supply in dairy cows:consequences on efficiency[J].Journal of Dairy Science,2015,98(6):3951-3968.

[29] 毛成文.包被蛋氨酸和赖氨酸对肉羊氮代谢和生产性能影响研究[D].硕士学位论文.北京：中国农业大学，2004.

[30] SOCHA M T,PUTNAM D E,GARTHWAITE B D,et al.Improving intestinal amino acid supply of pre- and postpartum dairy cows with rumen-protected methionine and lysine[J].Journal of Dairy Science,2005,88(3):1113-1126.

[31] 方桂友, 周万胜, 邱华玲, 等.夏季高温时蛋白质和赖氨酸水平对泌乳母猪生产性能及粪氮排泄量的影响[J].福建畜牧兽医,2018,40(2):3-7.

[32] 李雪玲, 张乃锋, 马涛, 等.开食料中赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸和色氨酸对断奶羔羊生长性能、氮利用率和血清指标的影响[J].畜牧兽医学报,2017,48(4):678-689.

[33] WHELAN S J,MULLIGAN F J,FLYNN B,et al.Effect of forage source and a supplementary methionine hydroxy analog on nitrogen balance in lactating dairy cows offered a low crude protein diet[J].Journal of Dairy Science,2011,94(10):5080-5089.

Effects of Rumen-Protected Lysine on Ruminal Microbial Protein Production, Milk Performance and Nitrogen Excretion of Dairy Cows

ZHANG Kaixiang[1] XING Defang[2] GAO Xulei[3] TENG Lebang[4] LYU Yongyan[1] SUN Guoqiang[1*]

(1. *College of Animal Science and Technology, Qingdao Agricultural University, Qingdao* 266109, *China*; 2. *Workstation of Animal Husbandry and Veterinary Medicine of Tuanwang for Laiiyang City, Laiyang* 265217, *China*; 3. *Agriculture and Water Conservancy Bureau of Laoshan, Qingdao* 266061, *China*; 4. *Animal Husbandry and Veterinary Bureau of Pingdu, Qingdao* 266700, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to determine the effects of rumen-protected lysine (RPLys) on microbial protein (MCP) production, milk performance and nitrogen excretion of

---

*Corresponding author, professor, E-mail: qdnydxsgq@126.com （责任编辑 菅景颖）

dairy cows. Forty healthy Holstein lactating cows with similar age, body weight, parity, milk yield, milk composition and lactation period [(90±15) d] were randomly divided into 4 groups with 10 cows per group. The supplement level of RPLys in control group and test groups 1, 2 and 3 was 0, 25, 30 and 35 g/(d·head), respectively. The pretest lasted for 15 d, and the test lasted for 60 d. The results showed as follows: 1) ruminal MCP production in test groups 1, 2 and 3 was increased by 5.34% ($P<0.05$), 14.76% ($P<0.01$) and 10.06% ($P<0.01$) compared with control group, respectively. 2) Milk yield in test groups 1, 2 and 3 was increased by 5.70%($P<0.05$), 9.98% ($P<0.01$) and 7.87%($P<0.05$) compared with control group, respectively; milk protein percentage in test group 2 was extremely significantly higher than that in control group ($P<0.01$), and it in test group 3 was significantly higher than that in control group ($P<0.05$). 3) Nitrogen total excretion in test groups 1, 2 and 3 was reduced by 5.70% ($P<0.01$), 9.98% ($P<0.01$) and 7.87% compared with control group, respectively. It can be seen that the addition of RPLys to diets can increase ruminal MCP production, decrease the nitrogen excretion, and improve the milk performance of dairy cows. Under the present experimental conditions, the optimal supplemental level of RPLys in the diet of dairy cows is 30 g/(d·head) based on comprehensive consideration of above indexes.

Key words: rumen-protected lysine; dairy cows; ruminal microbial protein; milk performance; nitrogen excretion